

FIABILITÉ DE L'ESTIMATION DU NIVEAU DE POLLUTION ORGANIQUE DES EAUX COURANTES PAR LES DIATOMÉES ET EFFICACITÉ DE LEUR POUVOIR INTÉGRATEUR¹

Louis LECLERCQ

Centre de Recherche et d'Éducation pour la Conservation de la Nature,
rue des Écoles, 21, B-6383 Vierves-sur-Viroin, Belgique.

RÉSUMÉ - Pour fournir une estimation fiable de la qualité des eaux, les bioindicateurs doivent répondre à différents critères parmi lesquels la capacité d'intégration des facteurs du milieu et l'indépendance de l'estimation du niveau de pollution vis-à-vis des variations saisonnières naturelles des peuplements. Des prélèvements mensuels d'eau et de Diatomées benthiques dans des rivières oligotrophes et eutrophes du sud de la Belgique montrent que les Diatomées répondent bien à ces deux critères. Ces prélèvements permettent en effet de vérifier la capacité d'intégration, par les Diatomées, des facteurs du milieu, notamment des facteurs de pollution organique. Ils montrent également que la composition des peuplements peut se modifier fortement par suite des variations saisonnières naturelles de certains paramètres indépendants de la pollution organique (température, minéralisation) et que ces modifications ont peu d'influence sur la valeur de l'indice diatomique quand le niveau global de pollution ne varie pas. Ces critères, évidents en apparence, ne sont pas vérifiés par certaines méthodes dont, notamment, les indices biocénotiques basés sur les macroinvertébrés benthiques. Ces conclusions renforcent l'intérêt d'utiliser les Diatomées pour l'estimation et la surveillance de la qualité des eaux courantes.

ABSTRACT - To obtain a valid estimation of the water quality, the bioindicators must meet different criteria among which the capacity of integration of the environmental factors and the independence of the pollution level estimation over against the natural seasonal variations of the communities. Monthly samples of water and benthic diatoms in oligotrophic, mesotrophic and eutrophic rivers of the south of Belgium prove that the diatoms meet well these two criteria. Indeed, these samples allow to ascertain the integration capacity, by the diatoms, of the environmental factors, particularly the organic pollution factors. They also prove that the communities structure can change strongly consequently to natural seasonal

¹Communication présentée au 8e Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Thonon-les-Bains (20-24 septembre 1988).

Convention relative à une recherche sur les problèmes liés à l'influence des sels de déneigement sur les cours d'eau, financée par le Fonds des Routes et dirigée par L. Vandevenne au Centre belge d'étude des eaux (CEBEDEAU), rue A. Stévert, 2, B-4000 Liège, Belgique.

variations of some parameters independent of the organic pollution (temperature, mineralization) and that these changes have no influence on the diatomic indexes when the total pollution level does not vary. These important criteria are not verified for some other methods, especially for the biocenotic indexes based on the benthic macroinvertebrates. These conclusions reinforce the interest to use the diatoms for the estimation and the control of the running waters quality.

MOTS CLÉS : Diatomées, bioindicateurs, pouvoir intégrateur, estimation de la pollution organique, eaux courantes, variations saisonnières.

INTRODUCTION

Différents organismes - végétaux, animaux, bactéries - peuvent être utilisés comme bioindicateurs de la qualité des eaux. Il serait fastidieux de citer ici les nombreux travaux publiés dans ce domaine.

Nos travaux antérieurs ont montré que les algues diatomées sont particulièrement intéressantes parce qu'elles répondent à différents critères discutés dans Leclercq & Maquet (1987) et que nous rappelons brièvement.

- un groupe de bioindicateurs est intéressant si on peut en trouver des espèces dans tous les milieux concernés, quel que soit le niveau de pollution.

- la répartition des bioindicateurs choisis doit être homogène au sein de chaque station et dépendre prioritairement des caractéristiques chimique de l'eau - ce qui est le cas des diatomées très sensibles à l'azote et aux phosphates - et être, autant que possible, indépendante de facteurs tels que le type de substrat, la vitesse du courant, ...; ce critère, évident en apparence, est plus généralement satisfait par les diatomées que par les invertébrés benthiques;

- les bioindicateurs doivent être identifiables jusqu'au niveau spécifique, chaque espèce ayant une écologie propre apportant une contribution importante dans l'estimation globale;

- des bioindicateurs valables devraient présenter des exigences écologiques aussi étroites que possible, plus spécialement vis-à-vis de la pollution organique; comme on a souvent des amplitudes écologiques assez larges, les méthodes les plus fiables semblent être actuellement celles qui, comme le préconise Sladeczek (1973, 1986), attribuent à chaque espèce une valence saprobique pondérée par une valeur indicatrice dépendant de l'amplitude écologique.

La présente note montre que les Diatomées répondent à 2 critères supplémentaires importants pour des bioindicateurs: d'une part, leur capacité d'intégration des facteurs du milieu: d'autre part, la fiabilité de l'estimation qu'elles fournissent en dépit de variations saisonnières importantes de la structure et de la composition des peuplements.

Le site choisi est la Wimbe, rivière du sud de la Belgique, appartenant au bassin de la Meuse belge (figure 1). Cette rivière parcourt 28km, de sa source à proximité de Haut-Fays à sa confluence avec la Lesse, en amont de Villers-sur-Lesse (figure 2). Les trois stations considérées sont codifiées Wimbe 1, Gongon 3 et Wimbe 4.



Figure 1. - Carte du territoire belge, avec localisation du massif Ardennais et du bassin étudié (Wimbe).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les prélèvements d'eau ont été réalisés mensuellement de mars 1985 à février 1986 et analysés dans les plus brefs délais, d'après les méthodes classiques. Ces analyses permettent de situer le niveau trophique et de calculer notre indice de pollution organique (IPO: Leclercq & Maquet, 1987; Leclercq & Vandevenne, 1987) dans le cas présent, sur base des teneurs en nitrites et phosphates selon la classification suivante:

classe 5:	$\leq 5 \mu\text{g-N/l}$ et	$\leq 15 \mu\text{g-P/l}$
classe 4:	$6-10 \mu\text{g-N/l}$ et	$16-75 \mu\text{g-P/l}$
classe 3:	$11-50 \mu\text{g-N/l}$ et	$76-250 \mu\text{g-P/l}$
classe 2:	$51-150 \mu\text{g-N/l}$ et	$251-900 \mu\text{g-P/l}$
classe 1:	$> 150 \mu\text{g-N/l}$ et	$> 900 \mu\text{g-P/l}$

Les Diatomées sont prélevées en même temps que l'eau, par brossage des faces supérieures de pierres immergées, sur environ 20cm^2 ; elles sont nettoyées ensuite à l'acide nitrique à chaud et montées dans une résine d'indice de réfraction élevé (Naphrax). Dans chaque échantillon est réalisé un relevé exprimé en pourcentage d'abondance relative de chaque espèce sur base d'un comptage de 500

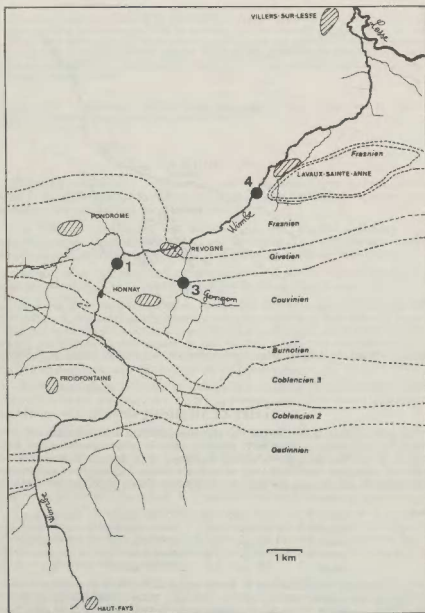


Figure 2 - Bassin de la Wimbe: géologie et stations de prélèvement.

valves. Ces pourcentages sont utilisés pour le calcul de notre indice diatomique (ID: Leclercq & Maquet, 1987).

Les valeurs des deux indices sont interprétables en terme de pollution suivant la classification suivante:

- pour l'IPO: 5,0-4,6: pollution nulle; 4,5-4,0: pollution faible; 3,9-3,0: pollution modérée; 2,9-2,0: pollution forte; 1,9-1,0: pollution très forte;
- pour l'ID: 5,0-4,3: pollution nulle; 4,2-3,6: pollution faible; 3,5-3,0: pollution modérée; 2,9-2,3: pollution forte; 2,2-1,0: pollution très forte.

RÉSULTATS

1. Caractérisation physico-chimique des eaux

La figure 2 montre que le cours supérieur de la Wimbe, en amont de Honnay, est situé sur les roches siliceuses de l'Ardenne, pauvres en éléments échangeables (quartzophyllades, grès, schistes, psammites des assises du Gedinnien, Coblencien, Burnotien). En aval de Honnay, la Wimbe et son affluent, le Gongon, coulent essentiellement sur des terrains calcaires (Couvinién, Givetien, Frasnien).

Le tableau 1 illustre les différences chimiques importantes entre les 3 stations. Pour chacune d'elle, le diagramme ionique est tracé selon la méthode de Kufferath (1951). Les eaux du cours supérieur (station 1) sont oligotrophes et peu minéralisées (petit diagramme ionique). Les eaux du Gongon (station 3) sont eutrophes, calcaires et très minéralisées (grand diagramme ionique étiré verticalement). Par ces apports et par la nature géologique du lit, les eaux de la Wimbe acquièrent rapidement des caractéristiques mésotrophes (stations 4: diagramme ionique intermédiaire).

Les variations saisonnières de la minéralisation sont suivies par la mesure de la conductivité. Elles sont étroitement parallèles aux variations de débit (figure 3C): diminution des teneurs en minéraux dissous (calcium, magnésium, sodium, bicarbonates, chlorures, sulfates) en période de hautes eaux et augmentation pendant les basses eaux (de 140 à 240 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à la station 4).

Aucune des 3 stations n'est dans un état naturel: les stations 1 et 4 sont situées dans les tronçons d'autoépuration d'effluents de différents villages, la station 3 est contaminée par le lessivage des amendements épandus sur les prairies. Dans les deux cas, il en résulte des teneurs moyennes annuelles non négligeables en phosphates.

Les variations saisonnières de l'IPO et des teneurs en phosphates et nitrites sont assez irrégulières (figure 3A et B). Paradoxalement, dans le cas de la Wimbe, on n'observe pas d'augmentation de la charge polluante par concentration en période de basses eaux. Au contraire, on note pendant les crues de mai 85, décembre 86 et janvier 87 une augmentation des phosphates qui pourrait correspondre au lessivage des égouts caractérisant le début des coups d'eau. Ce lessivage étant assez limité dans le temps, sa mise en évidence dépend étroitement

du moment du prélèvement ce qui peut expliquer qu'il n'ait pas été enregistré pendant les crues de février 86.

2. Capacité d'intégration des facteurs du milieu.

L'estimation de la capacité d'intégration se fait par la comparaison de l'indice de pollution organique (IPO) et de l'indice diatomique (ID). La figure 3A donne l'évolution mensuelle de ces deux indices pendant deux années (mars 1985 à février 1987). L'indice de pollution organique est très différent d'un mois à l'autre. Les extrêmes sont de 2,5 et 4,5 pour la station 1 et de 2,0 et 4,0 pour les stations 3 et 4 soit des écarts de 2 unités. Les indices diatomiques sont beaucoup plus stables: 2,9 à 3,6 pour la station 1 (écart de 0,7); 3,6 à 3,9 pour la station 3 (écart de 0,3); 2,7 à 3,3 pour la station 4 (écart de 0,6). Par contre, les moyennes annuelles des indices sont assez comparables et sont, respectivement pour l'IPO et l'ID de: 3,5 et 3,4 pour la station 1; 3,5 et 3,8 pour la station 3; 3,0 et 3,1 pour la station 4.

D'autre part, les indices diatomiques les plus bas sont généralement notés en hiver (février 86 et 87 à la station 1, mars 85 à la station 3 et décembre 86 et février 87 à la station 4).

Nous tirons de ces observations les conclusions suivantes:

- les écarts importants de l'indice de pollution organique d'un mois à l'autre résultent des variations journalières et horaires de la charge polluante et d'une augmentation, sans doute limitée dans le temps, des phosphates pendant les crues; les IPO mensuels peuvent dès lors s'éloigner fortement de l'IPO moyen annuel et conduire ainsi à une estimation erronée du niveau de pollution;

- par contre, les faibles écarts de l'indice diatomique prouvent que les diatomées intègrent bien ces variations; ces faibles écarts ne sont pas imputables à un manque de sensibilité de ces algues: au contraire, la bonne correspondance entre les indices diatomiques, la moyenne annuelle de l'IPO qui reflète bien la

Paramètres	Wimbe 1	Wimbe 4	Gongon 3
température (°C)	7,8	8,3	10,0
pH	7,3	7,6	7,9
conductivité (µS/cm à 20 °C)	95	190	394
nitrites (µg-N/l)	5	18	13
phosphates (µg-P/l)	320	440	330
nitrate (mg-N/l)	1,8	2,8	3,3
sulfates (mg/l)	9,5	15,3	29,5
alcalinité (mg-CaCO ₃ /l)	23	64	169
chlorures (mg/l)	8,2	11,6	16,0
calcium (mg/l)	10,9	29,9	80,0
magnésium (mg/l)	2,4	4,5	4,4
sodium (mg/l)	4,5	6,0	5,1
potassium (mg/l)	1,3	2,1	1,3
minéralisation totale (mg/l)	1,860	4,103	9,055

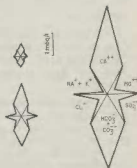


Tableau 1 - Moyenne annuelle de la composition chimique des eaux de la Wimbe et du Gongon et diagrammes ioniques correspondants, tracés selon Kufferath (1951).

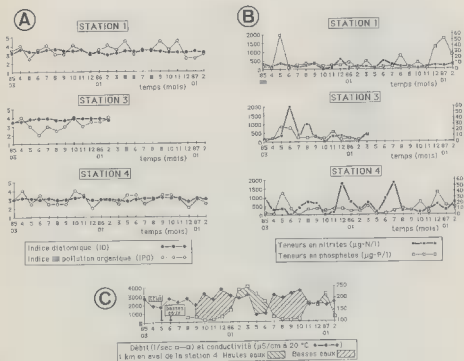


Figure 3. - Variations mensuelles, de mars 1985 à février 1987, de l'indice diatomique et de l'indice de pollution organique (A), des teneurs en phosphates et nitrates dans la Wimbe (stations 1 et 4) et le Gongon (station 3) (B) et du débit et de la conductivité 1 km en aval de la station 4 (C).

charge polluante moyenne et les teneurs moyennes en nitrates et phosphates démontrent la précision et la fiabilité de l'estimation; on remarque notamment que la diminution de l'indice diatomique entre les stations 1 et 4, enregistrée pour chaque prélèvement de Diatomée, correspond bien à une altération de la qualité (augmentation des teneurs moyennes annuelles en phosphates et nitrates, diminution de l'IPO moyen annuel); comme il s'agit d'une faible altération, elle peut échapper aux analyses chimiques si elles ne sont pas assez fréquentes, par ailleurs, l'augmentation hivernale des phosphates entraînant une diminution de l'IPO est aussi enregistrée par notre indice diatomique.

Il en résulte qu'un seul prélèvement de Diatomées donne une estimation fiable du niveau de pollution organique, quel que soit le moment de l'année, le jour de la semaine ou l'heure auquel il est réalisé. Au contraire, un nombre important de prélèvements d'eau (par exemple, journaliers pendant un mois ou mensuels pendant un an) est nécessaire pour atteindre une fiabilité équivalente de l'estimation.

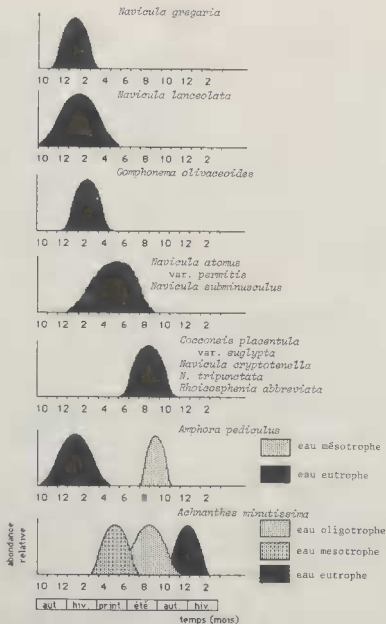


Figure 4 - Succession saisonnière des principaux taxons de diatomées de la Wimbe et du Gongon. Représentation schématique d'une synthèse des comptages dans les prélèvements de 1985 à 1988.

Les deux méthodes sont en fait complémentaires: l'indice diatomique fournit une estimation fiable du niveau de pollution; quelques analyses chimiques nous renseignent sur la nature du ou des polluants et les teneurs extrêmes qu'ils peuvent atteindre, parfois pendant de courtes périodes. Dès lors, cette utilisation conjointe de la chimie et des Diatomées aboutit à une meilleure surveillance de la qualité des eaux pour un coût inférieur, grâce au pouvoir intégrateur des Diatomées; par ailleurs, elle permet d'améliorer nos connaissances sur l'écologie des espèces.

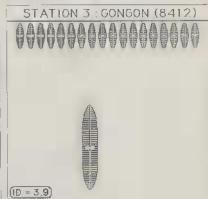
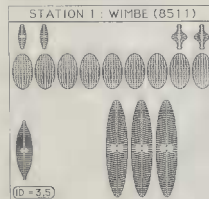
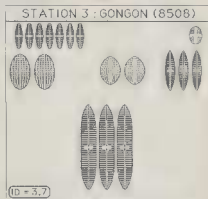
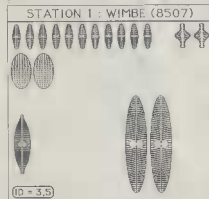
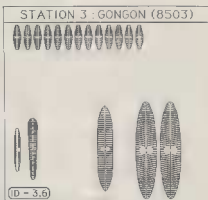
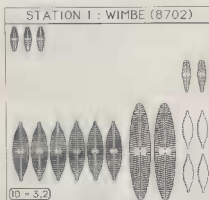
3. Effets des variations saisonnières des peuplements sur l'indice diatomique.

Nous avons montré précédemment (Fabri & Leclercq, 1984) que des variations saisonnières importantes des peuplements de Diatomées existent dans les eaux dystrophes et oligotrophes.

Nous montrons ici qu'il en est de même pour les milieux mésotrophes et eutrophes. La figure 4 donne schématiquement les périodes de développement des taxons les plus abondants dans nos relevés. Il n'est évidemment pas toujours possible de discerner l'effet de la température de l'effet de la minéralisation de l'eau. Pour des espèces calciphiles (*Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Navicula cryptotenella*, *N. tripunctata*, *Rhoicosphenia abbreviata*), le développement maximum se produit au moment où la minéralisation atteint un niveau suffisant soit pendant l'étiage estival. Pour certains autres taxons, les variations sont plus complexes et encore davantage liées au niveau de minéralisation. *Achnanthes minutissima* atteint son développement maximum à des saisons différentes lorsque la minéralisation n'est pas trop importante soit en période de hautes eaux dans les eaux eutrophes (dilution des substances dissoutes), au printemps dans les eaux mésotrophes et en étiage estival dans les eaux oligotrophes (concentration des substances dissoutes). *Amphora pediculus*, taxon à tendance eutrophe, trouve des conditions favorables pendant les crues hivernales en eau eutrophe (dilution) et en étiage estival en milieu mésotrophe (concentration); il n'apparaît pas en milieu oligotrophe, la minéralisation n'étant jamais assez élevée.

Ces variations saisonnières peuvent donc modifier profondément la structure et la composition des peuplements.

Comme nous l'avons dit plus haut, dans les zones rurales où la principale source de pollution est imputable aux habitants, on observe, pour des laps de temps suffisants de l'ordre du mois en l'absence d'activité touristique importante et de l'ordre de l'année dans le cas contraire, une certaine constance de la charge polluante. Dans ces conditions de même que dans des eaux non polluées, un bon indice diatomique devrait être autant que possible indépendant des variations saisonnières imputables à des facteurs naturels. Autrement dit, si un accroissement de la pollution n'a pas lieu, la régression saisonnière d'une espèce sensible doit faire place au développement d'une autre espèce de même sensibilité. Inversement, les variations naturelles de débit peuvent expliquer certaines variations de la charge polluante qui doivent avoir une incidence sur la valeur de l'indice diatomique, suite à l'apparition d'espèces adaptées. Il faut pour cela que les valences saprobiques des taxons se succédant dans le temps soient correctement estimées.



La figure 5 illustre, par dessins schématiques, les peuplements d'hiver, d'été et d'automne dans les 3 stations. Chaque valve dessinée correspond à $\pm 5\%$ d'abondance relative. Seuls les taxons atteignant cette valeur dans les relevés sont pris en compte. Dans le cartouche supérieur sont donnés le numéro de station, le nom de la rivière et la date du prélèvement (2 premiers chiffres: année; 2 derniers chiffres: mois). Dans le cartouche inférieur figure la valeur de l'indice diatomique qui est calculé à partir de tous les taxons du relevé.

Nous constatons que, en dépit des modifications importantes de la structure des peuplements, l'indice diatomique varie dans des limites étroites: à la station 1, de 3,2 en hiver à 3,5 en été-automne; à la station 3, de 3,6 en hiver à 3,9 en automne; à la station 4, de 3,0 en hiver à 3,3 en automne. La valeur systématiquement plus faible en hiver peut être mise en relation avec le ralentissement du processus autoépuration (augmentation des nitrates et des chlorures) et avec l'augmentation des teneurs en phosphates.

Notre indice diatomique répond donc de façon satisfaisante au critère d'indépendance vis-à-vis des variations saisonnières naturelles de certains paramètres non liés à la pollution organique, tout en réagissant rapidement à des variations de la charge polluante, notamment à son augmentation hivernale.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Antérieurement, nous avons discuté des conditions que devaient remplir les organismes aquatiques pour être de bons bioindicateurs de la qualité des eaux courantes. Plus particulièrement, nous avons montré que les Diatomées répondaient bien à ces conditions; des lors, nous avons présenté un nouvel indice diatomique et nous avons testé sa sensibilité dans un bassin hydrographique essentiellement eutrophe.

Notre étude sur la Wimbe nous permet de démontrer que les Diatomées et notre indice répondent également à deux critères supplémentaires importants: la capacité d'intégration des facteurs du milieu, notamment des facteurs de pollution organique, et l'indépendance de l'indice vis-à-vis des variations saisonnières naturelles qui ne doivent idéalement pas interférer avec les variations des niveaux de pollution.

Ces critères ne sont pas satisfaits par l'analyse chimique quand elle est ponctuelle ce qui est généralement le cas.

Les peuplements de macroinvertébrés benthiques peuvent partiellement répondre à ces exigences pour autant que leur identification soit effectuée, comme pour les diatomées, jusqu'au niveau spécifique ce qui est, actuellement, difficilement réalisable. Même dans ces conditions, l'émergence des adultes de certains taxons et, dans une moindre mesure, le processus de dérive peuvent cependant influencer sur la valeur de l'indice saprobique alors que la qualité de l'eau ne s'est pas nécessairement modifiée. Par contre, les indices biotiques de Verneaux & Tuffery (1967) et les méthodes qui en sont dérivées (De Pauw & Vanhooren, 1983), qui utilisent aussi les macroinvertébrés mais avec des niveaux de détermination supérieurs (ordre, famille), ne répondent pas de façon satisfaisante aux critères et sont, pour cette raison, imprécis et peu fiables.

En conclusion, le relevé mensuel des peuplements de Diatomées, conjointement à des analyses chimiques, valorisent les intéressantes possibilités d'utilisation de ces organismes pour l'estimation et la surveillance de la qualité des eaux courantes et permettent en outre d'améliorer constamment notre indice diatomique en précisant les exigences écologiques de certains taxons par l'étude de leur succession dans le temps.

LISTE DES TAXONS CITÉS DANS LE TEXTE

- Achnanthes minutissima* Kütz.
Amphora pediculus Kütz. (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 346, fig. 150: 8-13)
Cocconeis pediculus Ehr.
C. placentula Ehr. var. *euglypta* (Ehr.) Grun.
Fragilaria construens (Ehr.) Grun. (= *Staurosira construens* Ehr. in Williams & Round, 1987: p. 272, fig. 15-17)
F. vaucheriae (Kütz.) Pet. (= *F. capucina* Desm. var. *vaucheriae* (Kütz.) Lange-Bert. (Lange-Bertalot, 1980)
Gomphonema olivaceoides Hust. (= *G. olivaceum* (Horn.) Bréb. var. *minutissimum* Hust. in Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 375, fig. 165: 14-16).
G. olivaceum (Horn.) Bréb.
Meridion circulare (Grev.) Ag.
Navicula atomus (Kütz.) Grun. var. *permissis* (Hust.) Lange-Bert. (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 216, fig. 74: 14-17)
N. cryptotenella Lange-Bert. (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 106, fig. 33: 9-11)
N. gregaria Donkin (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 116, fig. 38: 10-15)
N. lanceolata (Ag.) Ehr. (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 100, fig. 29: 5-7)
N. subminuscula Manguin (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 223, fig. 76: 21-26)
N. tripunctata (O. Mull.) Bory (Krammer & Lange Bertalot, 1986: p. 95, fig. 27: 1-3)
Nitzschia sociabilis Hust. (Krammer & Lange Bertalot, 1988: p. 119, fig. 83: 1-9)
Rhoicosphenia abbreviata (Ag.) Lange-Bert. (Krammer & Lange-Bertalot, 1986: p. 381, fig. 91: 20-28)

BIBLIOGRAPHIE

- DE PAUW N. & VANHOOREN G., 1983 - Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiol.* 100: 153-168.
- FABRI R. & LECLERCQ L., 1984 - *Étude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique): flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux.* 1: 379p., 33 pl. h.t.; 2: 5 + 239 p., 6 fig. & 4 tabl. h.t.; 3: 5 + 201 p., 4 cartes & 9 tabl. h.t. Robertville, Stat. Scient. Hautes-Fagnes.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1986 - Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae, 1; Teil: Naviculaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: I-XVI + 1-876.

- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1988 - Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 1-X + 596.
- KUFFERATH J., 1951 - Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. *Bull. Inst. Roy. Sci. Nat. Belgique* 27 (43): 8p., 1 pl. h.t.; 27 (44): 6p.; 27(45): 8p.
- LANGE-BERTALOT H., 1980 - Zur systematischen Bewertung der bandförmigen Kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria*. *Nova Hedwigia* 33: 723-787.
- LECLERCQ L., 1987 - Végétation et physico-chimie des eaux des rivières naturelles du nord du massif Ardennais (Belgique): Typologie des peuplements de diatomées. *Cryptogamie, Algol.* 8 (3): 157-171.
- LECLERCQ L. & MARQUET B., 1987 - Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents. Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénotiques et diatomiques. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belgique, Documents de travail* 38: 113 p.
- LECLERCQ L. & VANDEVENNE L., 1987 - Impact d'un rejet d'eau chargé en sel et d'une pollution organique sur les peuplements de diatomées de la Gander (Grand-Duché du Luxembourg). *Cah. Biol. Mar.* 28: 311-317.
- SLADĚČEK V., 1973 - System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol.* 7: 4 + 218p.
- SLADĚČEK V., 1986 - Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 14 (5): 555-566.
- VERNEAUX J. & TUFFERY G., 1967 - Une méthode zoologique pratique pour la détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. *Ann. Sci. Univ. Besançon* 3: 79-89.
- WILLIAMS D.M. & ROUND F.E., 1987 - Revision of the Genus *Fragilaria*. *Diatom Research*, 2 (2): 267-288.